

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Techos verdes: prácticas de gestión ambiental en áreas urbanas

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado
en Ciencias Biológicas**

MAURICIO RAÚL GAVILANES ALBÁN

Quito, 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas del Señor Mauricio Raúl Gavilanes Albán ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

.....

Dr. Hugo Navarrete Zambrano

Director de la monografía

Quito, 31 de marzo del 2015

LISTA DE ABREVIATURAS

ASCE	American Society of Civil Engineers
CONALEP	Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica - Chile
EPA	United States Environmental Protection Agency
GSA	United States General Services Administration
IGRA	International Green Roof Association
PUCE	Pontificia Universidad Católica del Ecuador
PVC	Policloruro de vinilo (C_2H_3Cl)
TPO	Termoplástico polyolefino

TABLA DE CONTENIDOS

1 RESUMEN.....	1
2 ABSTRACT.	2
3 INTRODUCCIÓN.....	3
4 DESARROLLO TEÓRICO	5
4.1 QUÉ SON LOS TECHOS VERDES	5
4.1.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TECHOS VERDES	5
4.2 TIPOS DE TECHOS VERDES	10
4.2.1 TECHO VERDE EXTENSIVO.....	10
4.2.2 TECHO VERDE INTENSIVO.....	13
4.3 ORIGEN DE LOS TECHOS VERDES	15
4.4 BENEFICIOS POTENCIALES DE LOS TECHOS VERDES	17
4.4.1 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA (MITIGACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR URBANO)	17
4.4.2 EFECTO DE AISLAMIENTO TÉRMICO Y AHORRO ENERGÉTICO.....	20
4.4.3 REGULACIÓN DE LA HUMEDAD AMBIENTAL	22
4.4.4 CAPTACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES Y PRODUCCIÓN DE OXÍGENO	23
4.4.5 MEJORAMIENTO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA LOCAL	25
4.4.6 RETENCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA Y DISMINUCIÓN DE LA ESCORRENTÍA	28
4.4.7 AISLAMIENTO ACÚSTICO	32
4.4.8 PROLONGACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS CUBIERTAS	33
4.4.9 RECREACIÓN Y MEJORA DEL AMBIENTE URBANO	33
4.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TECHO VERDE	35

4.6 LA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS TECHOS VERDES	38
4.7 OBSTÁCULOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS TECHOS VERDES.....	40
5 CONCLUSIONES.....	42
6 RECOMENDACIONES.....	43
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
8 FIGURAS.....	54
9 TABLAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes de un techo verde (modificada de Liu, 2004).

Figura 2. Techo verde extensivo sobre cubierta inclinada. (Fuente: IGRA, 2014).

Figura 3. Techo verde ajardinado en la cubierta de la Torre 2 de la PUCE.

Figura 4. Imagen recreada de los jardines colgantes de Babilonia.

Figura 5. Perfil esquemático de una Isla de Calor Urbano.

Figura 6. Fluctuación de temperatura en las superficies de techos convencionales y techos verdes en el verano del 2006 en Florida.

Figura 7. Colibrí en el techo verde implementado sobre la cubierta de la Torre 2 de la PUCE.

Figura 8. Número de artículos sobre techos verdes, publicados por año.

Figura 9. Número de artículos sobre techos verdes publicadas por país desde el año 2000.

Figura 10. Número de artículos sobre techos verdes, relacionados con diferentes áreas temáticas.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Tipos y características de los techos verdes

1 RESUMEN.

Los techos verdes se han popularizado en todo el mundo, especialmente en los países desarrollados, como una herramienta viable para la gestión ambiental. La investigación sobre sus requerimientos técnicos y sus beneficios, va ganando espacio en universidades y centros de investigación principalmente de Norte América, Europa y Asia, y se ha multiplicado notoriamente desde la década de los 1990 hasta la fecha. En la región sudamericana hay poca investigación al respecto. Sólo se encontró 2 publicaciones sobre investigaciones de techos verdes en Ecuador.

Algunos países, e inclusive ciudades, han establecido normativas y estándares locales para la implementación exitosa y ordenada de los techos verdes. En Ecuador se ha implementado techos verdes en algunos edificios públicos y centros comerciales, pero no existe normativa específica ni estándares locales. Si bien se menciona la implementación de techos verdes en planes de acción de algunas ciudades como Quito y Guayaquil, no se cuenta con metas específicas ni directrices para su promoción, investigación, implementación y seguimiento.

Términos clave: aislamiento térmico; biodiversidad; isla de calor urbana; retención del agua de lluvia; secuestro de carbono; Techos verdes.

2 ABSTRACT.

Green roofs have become very popular all over, especially in developing countries, as a viable tool for the environmental management. Research about its technical requirements and its advantages is getting more and more space in universities and research centers, mainly in North America, Europe and Asia, and its amount has multiplied notoriously since the '90 to date. There is little research about green roofs in South American region. Only two publications about researches on green roofs were found to Ecuador.

Many countries, even cities, have set regulations and local standards to assure the successful and orderly implementation of green roofs. Green roofs have been built in many public buildings and shopping centers in Ecuador, but there's not a specific regulation neither local standards. While the implementation of green roofs is mentioned in action plans in many cities like Quito, there's not specific goals neither guidelines for promotion, research, implementation and monitoring of green roofs.

Key words: Biodiversity; carbon sequestration; Green roof; stormwater retention; thermic isolation; urban heat island.

3 INTRODUCCIÓN.

La implementación de techos verdes ha ganado terreno progresivamente en todo el mundo, particularmente en las ciudades europeas y norteamericanas, como una estrategia para enfrentar el cambio climático global y los cambios locales del ambiente en las áreas urbanas (EPA, 2008). En Ecuador el tema va ganando terreno pero todavía son pocas las unidades instaladas. Los sectores de mayor demanda son los edificios públicos y centros comerciales (ExploRed Ecuador, 2013).

Entre los beneficios atribuidos a los techos verdes se cuentan la captación del carbono atmosférico, captación de partículas nocivas presentes en el aire de las ciudades, mitigación del efecto de Isla de Calor Urbana, regulación de la humedad ambiental, aislamiento térmico que permite mantener una temperatura interior más confortable que la temperatura exterior, retención, almacenamiento y retardo en el tiempo de descarga del agua de lluvia —y, por tanto, reducción de los caudales de agua de lluvia en los sistemas de alcantarillado—, protección y fomento de la biodiversidad (Bass y Baskara, 2003; Bauman 2006; Brenneisen; 2006; Carter y Keeler, 2008; Casey Trees Endowment Fund y Limo-Tech, 2005; Coffman, 2007; Cummings *et al.*, 2007; Del Barrio, 1998; Dvorak, 2015; Emilsson, 2005; EPA, 2008^a; EPA, 2008^b; GSA, 2015; Heredia, 2012; Hutchinson *et al.*, 2003; Liu, 2004; Liu y Baskaran, 2003; Moran *et al.*, 2003; Oberndorfer *et al.*, 2007; Peck *et al.*, 1999; Ramírez y Bolaños-Silva, 2012; Rosatto *et al.*, 2013; Ryerson University, 2005; US Department of Energy, 2004; Van Renterghem *et al.*, 2014; Wong *et al.*, 2003). También se le atribuye efectos positivos en el aspecto estético porque ayuda a mejorar el paisaje urbano, lo que a su vez mejora el

bienestar psicológico de las personas, al igual que lo hacen cualquier zona verde dentro de las áreas urbanas. (García, 2010; Ryerson University, 2005; Plúa, 2012)

Por medio de la revisión de la bibliografía disponible, el presente documento intenta explicar cada una de las ventajas atribuidas a los techos verdes, e identificar necesidades de nuevas investigaciones y acciones.

Por último, se da algunas recomendaciones para que las ciudades ecuatorianas y sus habitantes incorporen exitosamente los techos verdes como una alternativa viable para mejorar las condiciones ambientales en los sectores urbanos.

4 DESARROLLO TEÓRICO

4.1 QUÉ SON LOS TECHOS VERDES

La definición más simple de un techo verde es vegetación creciendo sobre la cubierta de un edificio (Coffman, 2007; Chenani, *et al.*, 2015). No obstante, en los últimos años se menciona los techos verdes, —también conocidos como techos ecológicos, techos vegetados, techos ajardinados— como una tecnología naciente para mitigar el efecto de Isla de Calor Urbana (EPA, 2008b), o como una tecnología para la construcción de cubiertas que incluye las plantas como un material importante (Getter & Rowe, 2008). Frecuentemente se reemplaza el término techo por terraza o azotea (rooftop) (Bass & Baskaran, 2003; Carter y Keeler, 2008; Coffman, 2007; EPA, 2008b; Liu, 2004; Wong *et al.*, 2003).

En estos conceptos, no se incluye a las azoteas o terrazas que tienen plantas sembradas en maceta o en contenedores. Para ser considerados techos verdes deben ser implementados de acuerdo a la tecnología específica desarrollada para el cultivo de plantas sobre las cubiertas.

4.1.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TECHOS VERDES

El montaje de un techo verde representa un peso extra para la estructura del edificio, por lo que es importante, en primera instancia, verificar que la estructura del edificio tenga las condiciones necesarias para soportar dicho peso extra. Adicionalmente, el desarrollo de una capa vegetal sobre la cubierta,

conlleva riesgos que pueden ser provocados por la humedad acumulada en capa vegetal y sustrato, así como posibles daños causados por las raíces de las plantas que están creciendo sobre la cubierta.

Para controlar y evitar los riesgos sobre la estructura de la edificación a causa de la presencia del techo verde, se ha desarrollado una tecnología consistente en una estructura multicapas que es tendida sobre la superficie de la cubierta, y sobre la cual se dispondrá el sustrato que soportará a la capa vegetal. Los componentes de esta estructura multicapas para la implementación del techo verde, pueden ser agrupados en 3 grupos, atendiendo a su función (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. – Secretaría Distrital de Ambiente, 2011):

Componentes Activos: Que constituyen la parte viva de los techos verdes: la capa vegetal y el sustrato. Llamados activos porque van a presentar cambios constantes durante la vida útil del techo verde.

Capa vegetal. Compuesta por las plantas que deben ser cuidadosamente seleccionadas de acuerdo al clima, el diseño estructural, requerimiento y costos de implementación y mantenimiento. Considerando que los techos verdes tienen en general una capa delgada de sustrato, se debe seleccionar plantas cuyo sistema radicular no sea pivotante, sino que tenga un desarrollo horizontal y poco profundo; que sea tolerante a condiciones de sequía prolongadas. Las especies más usadas en Norte América y Europa para la implementación de los techos verdes, pertenecen al género *Sedum* spp., especialmente para los techos extensivos, en tanto que para los techos intensivos las opciones son más amplias (EPA, 2008b).

Sustrato o medio de cultivo. Corresponde a la matriz sobre la que se desarrollará la capa vegetal. Además juega un papel importante en la captación y almacenamiento del agua de lluvia, que es uno de los beneficios de mayor expectativa de esta tecnología. El sustrato puede variar en cuanto a la composición y estructura de materiales. Con el fin de lograr el menor peso y la máxima porosidad posible, se ha venido usando un material producido sintéticamente, que es la arcilla expandida, que es menos densa y más porosa y absorbente que los minerales naturales (Wark y Wark, 2003). La arcilla expandida es también empleada en los cultivos hidropónicos. No obstante, también se usa suelo natural, especialmente para la implementación de los techos verdes intensivos cuyos servicios prioritariamente esperados son de tipo estético.

Componentes estables o inertes: Son una serie de capas que deben ser tendidas sobre la superficie del techo o terraza, y sobre las cuales se coloca el sustrato. Cada una de estas capas cumple funciones específicas y, por tanto, son de diferentes materiales y texturas. La duración de estos componentes depende de su resistencia a las condiciones ambientales, a la humedad y a los agentes orgánicos como microorganismos y hongos. Estos componentes estables pueden aumentar en número, grosor y complejidad de acuerdo a los propósitos particulares de cada techo verde y de las condiciones estructurales del edificio, específicamente, de la cubierta.

Capa filtradora. Esta membrana es tendida por debajo del sustrato o medio de crecimiento y sobre la capa de drenaje. La membrana filtradora es de un material que permite el paso del agua, pero no permite el paso de partículas del sustrato, y sirve como barrera inicial contra las raíces. Este filtro generalmente

está formado por dos capas de geotextil, una de las cuales puede ser tratada con algún inhibidor de raíces, como el cobre o un herbicida leve. Esta capa es esencial para asegurar la calidad del agua que sale del techo verde hacia el sistema de drenaje del edificio, y para evitar pérdida de volumen y cambio en la textura del sustrato.

Capa de drenaje. Esta capa está por debajo de la capa filtradora y por encima de la membrana impermeabilizante. En esta capa se recoge el agua que ha llegado al techo y se ha filtrado a través del sustrato y de la membrana filtradora, y permite que fluya de forma lenta hacia el sistema de drenaje del edificio. Se trata de un material plástico corrugado, típicamente con un patrón de forma que se asemeja a una cubeta de huevos. El grosor mínimo sugerido para esta capa de drenaje es usualmente 20 mm; una capa de mayor grosor puede dar mayor aislamiento, mayor restricción del paso de raíces, y una mayor capacidad de almacenamiento temporal del agua de lluvia.

Barrera anti-raíces. Protege al techo de las raíces agresivas que podrían penetrar la membrana impermeabilizante y causar filtraciones. Puede ser una capa de PVC o polipropileno de alta densidad. Actualmente el mercado dispone de membranas impermeabilizantes que tienen incorporado un repelente de raíces, de modo que ya no sería necesaria la presencia de las dos capas.

Membrana impermeabilizante. El componente más importante de cualquier sistema de techado es la membrana impermeabilizante, que previene que el agua penetre al edificio y ocasione daños. Algunas membranas

impermeabilizantes vienen con un repelente de raíces en la formulación del producto.

Capa de protección o panel de soporte. La estructura del techo necesita protección contra daños eventuales durante la instalación del techo verde, y posteriormente contra la acción de los fertilizantes y la posible penetración de raíces. La capa protectora puede ser una lámina de concreto ligero, una membrada de aislamiento rígida, una lámina de plástico grueso, una hoja de cobre, o una combinación de estos dependiendo del diseño particular del techo verde y su aplicación o propósito principal. Algunos techos verdes extensivos no requieren de una capa protectora porque las especies vegetales que lo componen tienen sistemas radiculares cortos, de pequeño diámetro y no es agresivo, como la mayoría de especies del género *Sedum*.

Capa aislante. En un clima cálido y seco, la protección térmica que provee la capa de vegetación, el sustrato y la capa de drenaje a menudo es suficiente para mantener una temperatura dentro del rango de confort al interior del edificio. Sin embargo, los códigos de construcción usualmente requieren un aislamiento adicional. Esta capa puede ser instalada por debajo o por encima de la membrana impermeabilizante.

Barrera de vapor. Generalmente es un plástico o una lámina que impide el paso de la humedad a través del techo.

Componentes Auxiliares: Son elementos inertes que ayudan a que el techo verde se adapte de mejor manera a la estructura del edificio y a que cumpla de

mejor manera el/los propósito/s para el que fue implementado. Estos componentes pueden cumplir funciones de separación física, protección, evacuación de agua, tránsito de personas, riego, iluminación, ornamentación.

La Figura 1 muestra las capas que son típicamente parte de la estructura del techo verde.

4.2 TIPOS DE TECHOS VERDES

Se distinguen principalmente dos tipos de techos verdes, considerando el grosor y composición de la capa vegetal: Extensivo e Intensivo (Coffman, 2007; Oberndorfer *et al.*, 2007; Tarrida, 2010; University of Florida, 2008; Wark y Wark, 2003). Sin embargo, la morfología, composición y propósito de la capa vegetal de los techos verdes ha ido variando y adoptando formas y medidas intermedias entre estos dos extremos, de tal manera que hoy también se habla de “techos verdes semi-intensivos. En estos casos, también la capa del sustrato deberá modificarse en función de las características que tendrá la capa vegetal (Heredia, 2012; International Green Roof Association (IGRA), 2014; Ryerson University, 2005; EPA, 2008b) (Tabla 1).

4.2.1 TECHO VERDE EXTENSIVO

Cuenta con una capa vegetal herbácea, densa y continua tipo tapete, de una sola especie o de pocas especies de hábitos rastreros, con una altura máxima de 15 cm; el sustrato es delgado, no mayor a 5 cm (Heredia, 2012;

Tarrida, 2010; EPA, 2013). Generalmente los techos verdes extensivos son establecidos en cubiertas inclinadas por lo cual no son accesibles para las personas (Figura 2). Esto obliga a seleccionar especies de hierbas que puedan resistir largos períodos de sequía sin riego o con muy poco riego, que se extiendan rápidamente (facilidad para generar raíces adventicias), con requerimientos mínimos de nutrientes y que requieran poco cuidado y mantenimiento (poda, reemplazo, fertilización) (EPA, 2008b). No obstante, la delgada capa de sustrato hace necesario que se realice al menos una fertilización al año para evitar su acidificación y asegurar la continuidad de la capa vegetal (EPA, 2008b).

Un sustrato tan delgado como el mencionado para el techo verde extensivo, presenta algunas debilidades o inconvenientes que tienen que ser oportunamente controlados para asegurar el éxito de la implementación. En primer lugar, el volumen de suelo disponible es reducido y, consecuentemente, tiene una capacidad reducida de almacenamiento de agua. Esto, a su vez, determina que el sustrato se sature de agua con mucha facilidad, aún con precipitaciones ligeras, sobre todo si tiene alto contenido de arcilla o limo, lo cual le haría no apto para el crecimiento de las plantas (Hillel, 1998, citado en: Emilson, 2005). En consecuencia, el sustrato debería tener material poroso como piedra pómez, que permite mayor capacidad de almacenamiento de agua, además de un fácil drenaje (Emilson, 2005). Y permite, de esta manera, el transporte de oxígeno para las raíces. La combinación de piedra pómez, arcilla y limo, favorecerá también un mejor desarrollo de las plantas.

En un sustrato delgado también es importante limitar el contenido de materia orgánica para evitar la descomposición y lixiviación que terminarían por perjudicar el desarrollo de la capa vegetal. No es conveniente tampoco un sustrato formado únicamente de material poroso inorgánico porque puede dar lugar a una exagerada acidificación, con la consecuente afectación al crecimiento de las plantas. No obstante, esto puede ser equilibrado mediante la incorporación de caliza para asegurar un pH estable en el sustrato (Emilson, 2005).

Considerando que los techos soportan condiciones de alta irradiación solar, cambios extremos de temperatura entre el día y la noche, altas tasas de evaporación, fuertes vientos, y que reciben directamente el golpe de la lluvia y del granizo, o las bajas temperaturas de la nieve en invierno, se puede considerar que el techo es un hábitat extremo para el cultivo, especialmente para el tipo extensivo (techo verde extensivo), por las mencionadas condiciones del sustrato. De tal manera, las especies de plantas para estos techos deben ser resistentes a estas condiciones, a la sequía prolongada y debe tener bajos requerimientos de nutrientes. En las zonas templadas, las especies más usadas para los techos verdes extensivos son plantas suculentas principalmente del género *Sedum* y otras como *Phedimus* spp. e *Hylotelephium* spp., todas de la familia Crassulaceae (Emmilson, 2005; EPA,2008b). El uso de pastos y otras herbáceas resistentes a la sequedad, es también frecuente en algunas partes de Europa, pero requiere una mayor profundidad de sustrato y, además, debe considerarse la normativa local; en Suecia, por ejemplo, no es permitido el uso de gramíneas en los techos debido a regulaciones para prevención de incendios (Emilson, 2005).

4.2.2 TECHO VERDE INTENSIVO

Se lo llama así cuando la capa vegetal es una combinación de hierbas rastreras, hierbas florales, arbustos y hasta árboles. Para sostener una vegetación de este tipo, se requiere de un sustrato mayor a 5 cm y hasta 20 cm ó más de grosor (Getter y Rowe, 2008a; Tarrida, 2010; EPA, 2008b). En el caso de incluir árboles, necesitarán una mayor profundidad de sustrato y, además, se deberá seleccionar árboles de raíces laterales, no pivotantes, y de crecimiento vertical limitado. En el proyecto “Bosco Verticale” que la empresa HINES está implementando en la ciudad italiana de Milán, se cultivan árboles de hasta 9 metros de altura en las terrazas de cada piso (Stefano Boeri Architti – sitio web).

Generalmente los techos verdes intensivos son construidos con fines principalmente recreativos, para embellecer el paisaje urbano y brindar un ambiente de relajación y tranquilidad a las personas (Oberndorfer *et al.*, 2007; EPA, 2008b). Por tanto, son construidos en techos o terrazas planas o con poca pendiente y tienen un aspecto de jardín, por lo cual también se los llama techos ajardinados, y son más comunes en centros comerciales, hoteles y edificios públicos (Explored – Noticias de Ecuador, 2013) (Figura 3). Por sus características, los techos verdes intensivos abren ampliamente las alternativas al cultivo de plantas que no solo aporten a la estética, aislamiento térmico, retención del agua de lluvia, etc., sino que sean también hierbas aromáticas, medicinales e, incluso, comestibles; es decir, prestan también facilidad para la práctica de la horticultura y permacultura, con lo cual se amplía su espectro de beneficios hacia la auto-provisión de alimentos sanos y prestación de espacios para la convivencia (Forero y Devia, 2011).

Dependiendo del espacio disponible y de la creatividad del constructor y del propietario, los techos verdes intensivos pueden incluir otros elementos como miradores, piletas, acuarios y hasta canales abiertos para la circulación permanente del agua mediante sistemas de bombeo (Wark y Wark, 2003).

Por supuesto, las características de la vegetación que se desarrolla en estos techos verdes intensivos, determina que la demanda de agua sea mayor que en los techos verdes extensivos. Se requiere, entonces, de una fuente segura de provisión permanente de agua para sostener la vegetación, por lo cual no pueden depender únicamente del régimen de lluvias local, sino que deben contar con un sistema de riego para suplir los requerimientos de agua en épocas de ausencia prolongada de lluvias (Groundwork, 2011). El sistema óptimo para asegurar el riego oportuno y con bajo consumo de agua, es el riego por goteo. Por último, y en consecuencia con el carácter ecológico del techo verde, se debería considerar la recolección y almacenamiento del agua de lluvia para alimentar el sistema de riego.

Importante es tener en cuenta que el techo verde intensivo requiere de un mantenimiento similar a cualquier jardín, es decir poda, reemplazo, fertilización, limpieza, control de plagas, eliminación de malezas y especies que no cumplan con los propósitos originales del techo verde (CONALEP, 2013).

De lo expuesto se desprende que los costos de implementación del techo verde intensivo puede ser considerablemente mayor que un techo verde extensivo, y mucho mayor que un techo convencional, lo cual puede llevar a que las personas no opten por la implementación de techos verdes y escojan el techo

convencional (Zielinski *et al.*, 2012). De tal manera, se hace necesario un estudio de costos a nivel local y nacional, y un análisis costo–eficiencia específico para cada caso.

4.3 ORIGEN DE LOS TECHOS VERDES

Si bien el uso de los techos verdes se populariza progresivamente en Canadá y Europa a partir de los 1970s (Blackhurst *et al.*, 2010) y posteriormente en todo el planeta, éstos no son un invento reciente, sino que han sido una práctica de construcción en algunos países desde hace siglos (Peck *et al.*, 1999). Según Wark y Wark (2003), la primera referencia histórica de jardines hechos por el hombre sobre muros, fueron los “zigurats” de la antigua Mesopotamia. Estos son torres piramidales escalonadas hechas de adobe (barro y paja secado al sol) y cubiertos de ladrillo para evitar su deterioro, que fueron construidos aproximadamente desde el año 4000 hasta el año 600 Antes de Cristo.

Algunos pueblos de Islandia, Escandinavia, Estados Unidos y Canadá donde el clima es generalmente frío, han usado techos verdes desde hace siglos para mantener calientes sus viviendas, puesto que el techo verde almacena el calor de los ambientes interiores. En zonas con clima caliente, como Tanzania, en cambio los han usado para aislar sus viviendas de las altas temperaturas exteriores, y mantener el interior con una temperatura menor (Minke, 2004).

Los techos verdes antiguos fueron construidos con una tecnología muy diferente a la que se usa hoy. En el ejemplo de Islandia, el techo es construido

con 2 ó 3 capas de turba, tendidas sobre una cama de ramas, y cubiertas por gruesos panes de césped. Ninguno de estos materiales es impermeable, pero para la construcción del techo se toman en cuenta dos factores: el primero es que cuando la turba está bien seca, no absorbe fácilmente el agua, y; el segundo factor es darle al techo una inclinación suficiente para que el agua de lluvia, o proveniente de la nieve derretida, se escurra rápidamente por la superficie sin llegar hasta la capa de turba y ser absorbida por ella (Minke, 2004).

Al tratar sobre las primeras experiencias de techos verdes, no se puede dejar de mencionar a los jardines colgantes que dieron tanta fama a Babilonia y que merecieron ser reconocidos como una de las siete maravillas del mundo (Figura 4) (Coffman, 2007; Emilsson, 2005; Heredia, 2012; Vidal, 2009).

Algunos ejercicios de implementación de techos verdes, específicamente “techos ajardinados” aparecen aislados en determinados momentos de la historia. En los años 1920, se implementa un techo verde en el Madison Square Garden de New York, USA; más adelante, en 1930, se implementa un nuevo techo ajardinado en new York, esta vez sobre el Rockeller Center; En 1950, se establece un techo ajardinado en el Museo de Guggenheim, Alemania (Open Ingeniería, sf). La importancia que los techos verdes están adquiriendo en nuestros días, fue prevista en 1926 por el arquitecto Charles-Édouard Jeanneret-Gris, más conocido por su pseudónimo Le Corbusier, cuando declaró en “Manifesto for modern architecture”, que los techos verdes serán una parte esencial de la ciudad de futuro (EcuRed, s/f).

El concepto y tecnología actual del techo verde comienza a acuñarse en Alemania en 1971, con la publicación del libro “Áreas habitadas de los techos

transitables y cubiertos por vegetación” de Gerda Gollwitzer y Werner Wirsing (TC Tecnología & Construcción, 2010). Posteriormente, las empresas alemanas Zinco y Optigrün desarrollan la tecnología multicapas que da mayor protección para la estructura del techo y la variedad de sustrato para el cultivo de diferentes tipos y tamaños de plantas.

4.4 BENEFICIOS POTENCIALES DE LOS TECHOS VERDES

Los beneficios de la implementación de los techos verdes son tangibles y susceptibles de medición (Gil, 2013), están enmarcados en el ámbito de los servicios ambientales, sociales y económicos, y son similares a los que ofrece la vegetación que se desarrolla a nivel del suelo. La ventaja adicional que ofrecen los techos verdes, es que prestan espacio para aumentar la cobertura vegetal en áreas donde a nivel de suelo no existe espacio disponible, tal como ocurre en las áreas urbanas (EPA, 2008b).

4.4.1 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA (MITIGACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR URBANO)

La temperatura en las áreas urbanas es generalmente más elevada que en las áreas rurales adyacentes; esta diferencia de temperatura es conocida como isla de calor urbano (EPA, 2008a; Ryerson University, 2005) (Figura 5), y es causada, principalmente, por la absorción de la radiación solar en las superficies de concreto y asfalto de edificios y calles, y a la ausencia de vegetación (Ángel, *et al.*, 2010; GSA, 2011).

Los techos verdes contribuyen a mitigar el efecto de Islas de Calor Urbano, porque su capa de vegetación da sombra a las superficies del techo y retira el calor del aire a través de la evapotranspiración. La sombra generada por la capa vegetal, determina que el mayor porcentaje de radiación solar llegue solo hasta la parte superior de la planta donde es interceptado por las hojas y ramas; en tanto que el porcentaje de radiación que se filtra hasta la parte baja de la capa vegetal es reducido. La evapotranspiración, en cambio, refresca el aire porque usa el calor del aire para evaporar el agua (EPA, 2008b; Tarrida, 2010). De esta manera, estos dos mecanismos reducen la temperatura en la superficie del techo y del aire que lo rodea, logrando que la superficie de un techo verde sea menor que la temperatura atmosférica alrededor, en tanto que la superficie de un techo convencional puede exceder a la temperatura ambiental hasta en 50°C en horas de luz (EPA, 2008b).

Durante la implementación del techo verde en el Chicago City Hall en el año 2000, que cubre aproximadamente el 30% de la superficie total del techo, se observó que la nieve que cayó sobre la capa vegetal duró mucho más tiempo que la nieve que cayó sobre la superficie original del techo, lo cual indica una reducción en el flujo de calor en la porción cubierta por el techo verde (US Department of Energy, 2004). Mediciones de temperatura realizadas en agosto del 2001 en la superficie del techo verde del Chicago City Hall y en un techo convencional adyacente, siendo la temperatura ambiental 35°C (Dvorak, 2009), dejaron ver que la temperatura promedio en la superficie de la capa vegetal del techo verde fue 46.9°C, en tanto que en la superficie del techo convencional fue de 76°C, es decir, 26.9°C más alta que en la superficie del techo verde (US Department of Energy, 2004;). Asimismo, la temperatura de la capa del aire sobre

la superficie del techo verde se mantuvo 4°C por debajo de la temperatura de la capa de aire adyacente a la superficie del techo convencional (U.S. Department of Energy, 2004).

De igual manera, estudios similares realizados en el verano del 2006 (entre el 4 de julio al 1ro. de septiembre), en Florida, encontraron que la temperatura promedio máxima en la superficie de techos convencionales fue de 74.2°C, y la mínima de 38.2°C. La superficie de los techos verdes, en cambio, tuvo una temperatura promedio máxima de 47°C y mínima de 45.3°C. Se observa que la temperatura promedio máxima en la superficie de los techos convencionales es 26.6°C más alta que en el techo verde, en tanto que la temperatura promedio mínima es 7.1°C más baja en la superficie de los techos convencionales. La fluctuación de temperatura en la superficie de los techos convencionales muestra un rango de 36°C, en tanto que en la superficie de los techos verdes tiene un rango de apenas 2.4°C. Es decir, los extremos de temperatura en la superficie de los techos verdes son mucho más cercanos entre sí, que los extremos de temperatura en la superficie de los techos convencionales (Figura 6). (Cummings *et al.*, 2007).

Las temperaturas más bajas de los techos verdes, determinan menor transferencia de calor hacia el aire que está sobre ellos, lo cual puede ayudar también a mantener temperaturas más bajas en el aire urbano (EPA, 2008b).

Un estudio modelado en la ciudad de Toronto, Canadá, predijo que si se implementan techos verdes en la mitad de la superficie disponible en el centro de la ciudad, se podría reducir la temperatura ambiental en un rango entre 0.1°C y

0.8°C. Si estos techos se mantienen irrigados, se reduciría aún más la temperatura ambiental en aproximadamente 2°C, lo cual aportaría a reducir la temperatura ambiental de la región circundante a Toronto, en 0.5 – 1 °C (Liu y Bass, 2005).

4.4.2 EFECTO DE AISLAMIENTO TÉRMICO Y AHORRO ENERGÉTICO

El techo verde actúa como aislante térmico permitiendo que la oscilación de la temperatura al interior de la vivienda se mantenga en un rango menor al del exterior (Del Barrio, 1998). Si el techo verde se mantiene húmedo, puede absorber y almacenar grandes cantidades de calor, lo cual reduce aún más las fluctuaciones de temperatura. En el invierno de las zonas templadas, el techo verde ayuda a mantener más estable la temperatura interior del edificio, porque su efecto aislante disminuye la pérdida de calor por flujo a través del techo hacia el exterior (EPA, 2008b).

En zonas con radiación solar intensa y zonas de climas cálidos, el efecto de aislamiento térmico de los techos verdes permite que la temperatura interior del edificio se mantenga más baja que en el interior de edificios con cubiertas convencionales lo cual determina una reducción en la demanda de aire acondicionado y, por tanto, una reducción en el consumo de energía eléctrica. Esto se traduce, finalmente, en un ahorro económico para los habitantes de ese edificio (Ryerson University, 2005).

En un techo verde con una capa vegetal bien establecida, del total de radiación solar recibido, el 27% es reflejado hacia el aire, en tanto que las plantas y el suelo absorben el 60%; el 13% es transmitido por conducción a las superficies interiores del techo (Groundwork Sheffield, 2011).

Jeffrey (2006) encontró que la temperatura máxima promedio en la superficie de un techo convencional fue de 54°C en tanto que en la superficie de un techo verde, fue de 33°C, es decir, 21°C más bajo que en el techo convencional. Las temperaturas reducidas de la superficie del techo ayudan a mantener el interior del edificio más fresco porque es menor el calor que fluye a través del techo e ingresa al edificio (EPA, 2008b).

Wong *et al.*, (2003) y Ryerson University (2005), encontraron que la temperatura en el interior de las habitaciones cubiertas con un techo verde fueron al menos 3 ó 4 °C más bajas que la temperatura ambiental exterior, en tanto que los estudios realizados por Liu y Baskaran (2003) y por Bass y Baskaran (2003), demostraron una reducción en el consumo energético entre 6 y 7.5 kWh/día como consecuencia del efecto refrescante del techo verde, lo cual repercute finalmente en un ahorro económico.

En los ensayos realizados por Liu (2004) en Ottawa, observó que el techo verde fue más efectivo reduciendo la ganancia de calor durante la primavera y el verano que la pérdida de calor en el otoño y el invierno. Esto hace esperar que los techos verdes sean más efectivos como aislantes térmicos en las zonas tropicales, lo cual podrá ser corroborado o corregido mediante la realización de estudios de caso en esas zonas.

Los beneficios económicos derivados por el aislamiento térmico de los techos verdes fueron estimados a través de un ejercicio modelado para el Chicago City Hall, el cual determinó un ahorro estimado de 4 000 USD al año por costos de consumo de energía, debido a la reducción de uso de equipos de calefacción y de aire acondicionado (US Department of Energy, 2004). El modelo estimó también, que si se implementan techos verdes en todos los edificios de Chicago, la demanda de energía de la ciudad se podría reducir hasta en 720 megawatts, lo que determinaría un ahorro de 100 000 000 USD (US Department of Energy, 2004).

4.4.3 REGULACIÓN DE LA HUMEDAD AMBIENTAL

Las plantas absorben agua a través de sus raíces. Parte de esa agua es aprovechada para sus procesos metabólicos, y parte es emitida hacia el aire a través de sus hojas. Este proceso es llamado transpiración. El paso del agua del estado líquido a gaseoso, es la evaporación. Este proceso ocurre en la superficie de las hojas cuando el agua que ha sido transpirada se evapora y va hacia el aire circundante. La evaporación también ocurre en la superficie del sustrato sobre el cual está creciendo la planta (EPA, 2008b; Tarrida, 2010). De este modo, la presencia de techos verdes, puede aportar humedad al ambiente, sobre todo en zonas secas o desérticas, a través de procesos de evapotranspiración y respiración. Claro está que para que este aporte de humedad sea importante, la implementación de techos verdes deberá ser a gran escala.

4.4.4 CAPTACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES Y PRODUCCIÓN DE OXÍGENO

Al reducir el consumo de energía eléctrica a causa de la reducción del uso de los equipos de aire acondicionado en edificios con cubiertas verdes, también se contribuye a la reducción de la contaminación del aire y de la producción de gases de efecto invernadero asociados con la generación de energía (EPA, 2003). El ejercicio modelado para el techo verde del Chicago City Hall, estimó que la reducción del consumo de energía debido al menor uso de equipos de calefacción y aire acondicionado, podría determinar una reducción de gases de efecto invernadero, equivalente a 460 toneladas de compuestos nitrogenados y 570 toneladas de dióxido de sulfuro al año (US Department of Energy, 2004).

Adicionalmente, el techo verde también puede remover del aire gases contaminantes como óxidos de nitrógeno, anhídrido sulfúrico, monóxido de carbono (EPA, 2003; Tarrida, 2010). A través del proceso de la fotosíntesis, las plantas capturan el CO₂ de la atmósfera y lo combinan con agua para formar las moléculas de celulosa, con un producto secundario importante que es arrojado hacia la atmósfera: oxígeno puro. Los techos verdes permiten aumentar la superficie con cubierta vegetal en las áreas urbanas, lo que significa mayor captación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, y mayor producción de oxígeno.

Por otro lado, las plantas del techo verde puede remover algunas partículas contaminantes del aire a través de una proceso simple de deposición de dichas partículas sobre la superficie de sus hojas y tallos (EPA, 2003; Tarrida, 2010).

Algunos investigadores estiman que un techo verde de 93 m² de superficie, puede remover alrededor de 40 libras de partículas contaminantes del aire en el lapso de un año (Peck y Kuhn, 2003). En un ensayo modelado para la ciudad de Washington D.C., en el cual se planteaba el establecimiento de techos verdes en el 20% de la superficie total para edificios que tengan techos de al menos 930 m², se podría lograr que cerca de 2 millones de m² estuvieran cubiertos por techos verdes, los cuales podrían remover anualmente cerca de 6 toneladas de ozono bajo (groundlevel ozone) y casi 6 toneladas de partículas contaminantes de menos de 10 micrones. Es decir, el equivalente de contaminantes que podrían ser absorbidos por cerca de 25 000 a 33 000 árboles plantados a lo largo de las calles de la ciudad (Casey Trees y Limo-Tech, 2005). Resultados similares fueron encontrados en un estudio modelado para la ciudad de Toronto, Canadá (Currie, 2008). En este mismo estudio, la autora manifiesta que si bien los árboles siguen siendo la mejor opción para la remoción de partículas contaminantes del aire a nivel de comunidad, los techos verdes pueden complementar esta tarea de manera importante y, en combinación con arbustos y paredes verdes, podrían igualarlos, sobre todo en sectores de los centro de las urbes.

Ciertamente, los mayores niveles de remoción de partículas contaminantes del aire se obtienen en la vegetación arbórea, seguida de la arbustiva, lo que es fácilmente explicable por cuanto tienen varios niveles de hojas y ramas que aumentan la superficie de contacto, sobre la cual pueden ser depositadas dichas partículas. Esto fue corroborado en el estudio realizado por Currie y Bass (2008) en la ciudad de Ontario. No obstante, no resulta práctico ni posible sobrecargar a un techo con muchos árboles, no sólo por el alto peso extra, sino también porque la gran cantidad de raíces fuertes y fibrosas aumentan los riesgos de daños a la

estructura del techo. Los mejores resultados en la remoción de las partículas contaminantes del aire, se obtienen en los techos verdes intensivos porque cuentan con múltiples niveles de vegetación. No obstante, los techos verdes extensivos también contribuyen a la limpieza del aire, aunque en menor medida que los intensivos.

4.4.5 MEJORAMIENTO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA LOCAL

Los techos verdes brindan espacios potencialmente útiles para enriquecer la biodiversidad en las áreas urbanas o, si se quiere, devolver a las áreas urbanas parte de la biodiversidad que se sacrificó en el proceso de urbanización. Para conseguir este objetivo, se debería intencionadamente seleccionar especies de plantas nativas con el fin de favorecer la biodiversidad local de la flora y eventualmente, atraer especies de fauna, especialmente insectos y aves (Tarrida, 2010), incluyendo especies raras y amenazadas que han sido afectadas por el cambio de uso del suelo (Brenneisen, 2006).

Muchas ciudades muestran interés en construir corredores verdes para conectar a las ciudades con sus entornos naturales, pero la superficie de suelo disponible para este propósito no siempre es suficiente. En estos casos, los techos verdes son una opción importante para la creación de corredores verdes (Tarrida, 2010). Sin embargo, esto requiere un trabajo conjunto y coordinado de todos los sectores interesados, es decir, autoridades, planificadores, constructores, investigadores, financiadores y sociedad civil.

Si bien la implementación de techos verdes generalmente no ha considerado la protección y fomento de la biodiversidad como objetivo principal (Tarrida, 2010), se puede aprovechar estos espacios para fomentarla a través de una cuidadosa y consciente selección de las plantas que, además de presentar las características que las hagan aptas para desarrollarse exitosamente en los techos verdes, resulten atractivas para las aves y los invertebrados como las mariposas y otros.

En ciudades como Basel, Suiza, los techos verdes son mandatorios para todo edificio con techo horizontal, y el gobierno local provee directrices para que los techos verdes sean hábitats propicios para diferentes plantas y animales. Una de estas directrices menciona que el sustrato debe incluir suelos naturales provenientes de las áreas cercanas, con el fin de favorecer la biodiversidad de invertebrados nativos (Brenneisen, 2006).

Kadas (2004) realizó una investigación sobre las poblaciones de invertebrados en tres diferentes ambientes en la ciudad de Londres, incluyendo techos verdes con *Sedum* spp., techos marrones (especialmente contruidos para favorecer la biodiversidad) y predios con infraestructura abandonada en los alrededores de Londres; los resultados indican que la mayor abundancia de invertebrados fue encontrada en los techos verdes; al menos 10% de estos invertebrados corresponden a especies ubicadas en las categorías de “rara” y “escasa” por la Agencia Intergubernamental Natural de Inglaterra. Los invertebrados más abundantes fueron caracoles, los cuales son un importante alimento para las aves. Kadas (2004) concluye que los techos verdes proveen un

hábitat efectivo para un gran número y diversidad de invertebrados, y para la conservación de especies raras y amenazadas en la ciudad de Londres.

Bauman (2006) reporta el seguimiento realizado a la nidación de dos especies de aves (*Charadrius dubius* y *Vanellus vanellus*) en techos verdes en cinco localidades de Suiza. Ambas especies acostumbraban anidar en el suelo: *Charadrius dubius* prefería anidar sobre rocas con poca o ninguna vegetación circundante, generalmente en las riberas de los ríos; en tanto que *Vanellus vanellus* prefería anidar en humedales con vegetación herbácea baja. El desarrollo de actividades agrícolas y el asentamiento de nuevas áreas de vivienda, determinaron un decremento de la población local de estas especies; los individuos sobrevivientes se vieron obligados a adaptarse a las nuevas condiciones y cambiar sus hábitos de alimentación y nidación. Ante la escasez de sitios para la nidación a nivel del suelo, estas aves han aprendido a provechar los espacios que ofrecen los techos verdes de los edificios aledaños, cuya capa vegetal es principalmente dominada por *Sedum* spp. En los años 2005 y 2006 se siguió el desarrollo de los nidos con observaciones diarias. Se evidenció la eclosión de los huevos, pero ninguno de los polluelos sobrevivió. El investigador sugiere que la muerte de los polluelos se debió a la escasez de agua y de alimento, pues en estas especies, los polluelos tienen que buscar su propia alimentación y agua desde el primer día después de su nacimiento. El reporte de Bauman (2006) deja ver que si bien los techos verdes resultaron una alternativa para que las aves establezcan sus nidos, en cambio no ofrecieron la comida y el agua requerida para el crecimiento de los polluelos. Los investigadores sugieren que una mayor probabilidad de éxito habría para especies en las que los polluelos son alimentados por los padres.

En el techo verde implementado sobre la cubierta de la Torre 2 de la PUCE, en Quito, se hace ensayos para adaptación de especies nativas como fresa silvestre (*Fragaria vesca* Coville), *Alchemilla* sp., *Tillandsia* sp., *Carex* sp., orquídeas (*Epidendrum* sp.); en combinación con especies introducidas como lágrima de bebé (*Soleirolia soleioli* (Req.) Dandy) y tabaco chino (*Cuphea ignea* A.DC.) (Figura 3). Es frecuente el avistamiento de colibríes atraídos por *Cuphea ignea* (Figura 7), y de otras aves como gorriones (*Zonotrichia capensis*) y quillicos (*Falco sparverius*), además de insectos como abejas y mariposas.

4.4.6 RETENCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA Y DISMINUCIÓN DE LA ESCORRENTÍA

En condiciones naturales, el agua de lluvia es impedida de correr libremente gracias a la presencia de la vegetación y la capacidad del suelo para absorber el agua de lluvia y almacenarla (Ryerson University, 2005). El agua de lluvia retenida contribuye a mantener la humedad del suelo y a mantener también el nivel freático. En cambio, en las áreas urbanas donde el suelo está cubierto mayoritariamente por superficies impermeables como las aceras de concreto, caminos de asfalto, edificios con terrazas de concreto, etc., el agua de lluvia fluye libremente hacia los sistemas de alcantarillado o canales naturales circundantes. Con el crecimiento constante de las áreas urbanas, las consecuencias para el ambiente y, por supuesto para los habitantes, pueden ser severas, especialmente en cuanto se refiere al “síndrome de corriente urbana”, cuyos síntomas incluyen el incremento de la escorrentía, erosión del suelo, inundaciones repentinas, incremento en la concentración de nutrientes y contaminantes en plantas de

tratamiento y canales de descarga, y reducción de la riqueza biótica, con dominancia creciente de especies oportunistas (Walsh *et al.*, 2005).

En estas condiciones, los sistemas de alcantarillado deben ser construidos con una capacidad suficiente para recibir descargas repentinas muy fuertes cuando se presenten lluvias abundantes. Aún con estas consideraciones, es común que los sistemas de alcantarillado sean obstruidos por la gran cantidad de sedimentos y basura que es arrastrada por el agua de lluvia, especialmente cuando hay eventos fuertes de precipitación. Las áreas verdes dentro de los perímetros urbanos no son suficientes para retener el flujo del agua de lluvia y mucho menos para almacenarla.

El aporte de los techos verdes en estos casos ha sido confirmado por diversas investigaciones (Hutchinson *et al.*, 2003; Liu, 2004; Moran *et al.*, 2003). Tanto la capa vegetal, cuanto la capa de sustrato del techo verde, actúan como cualquier vegetación y superficie naturales, absorbiendo y reteniendo el agua de lluvia que de otra manera se escurriría directamente hacia el sistema de alcantarillado (Tarrida, 2010).

La capacidad de captación y retención del agua depende, en primer lugar, del grosor y del tipo de materiales de la capa de sustrato, y de la inclinación de la cubierta (EPA, 2008b; GSA, 2015-updated-). Mientras más profunda sea la capa de sustrato y más poroso sea el material que lo conforma, mayor será la capacidad de retención de agua y, por tanto, mayor será la disminución del caudal de agua de lluvia hacia los sistemas de drenaje. El estudio realizado por Casey Trees & Limno-Tech (2005) para la ciudad de Washington, D.C., estimó que un

techo verde extensivo disminuye los volúmenes de escorrentía en un 65%, en tanto que un techo verde intensivo lo disminuye hasta en un 85%. Este mismo estudio estima que si se establece techos verdes en el 20% de la superficie de cubiertas mayores a 930 m², la capacidad de almacenamiento de agua de lluvia de la ciudad aumentaría en 23 millones de galones por evento. Considerando un año promedio de precipitación, 297 millones de galones de agua de lluvia podrían ser capturados por los techos verdes en un año, en lugar de escurrirse directamente hacia los sistemas de alcantarillado. Si el 100% del área de techos mayores a 930 m² fuera cubierto por techos verdes, a lo largo de un año podría almacenarse alrededor de 1500 millones de galones de agua de lluvia, los cuales serían vertidos posteriormente en los sistemas de alcantarillado de forma lenta y en tiempos prolongados, lo cual evitaría presiones repentinas sobre dichos sistemas.

En un estudio realizado en la ciudad de Buenos Aires por Rosato *et al.* (2013), con mediciones tomadas a lo largo de dos años, se observó que el techo verde tuvo una capacidad de retención del agua de lluvia entre el 73% y el 100% para precipitaciones de hasta 20 mm; una retención de 60% para precipitaciones entre 35 a 40 mm, y; alrededor de 30% para precipitaciones cercanas a 100 mm. Con estos resultados, es claro que la tecnología de techos verdes es una alternativa efectiva para el manejo de la escorrentía integrada en cuencas urbanas.

La capacidad de retención y almacenamiento de agua en los techos verdes puede incrementarse con el uso de material granular en la capa de drenaje, tales como la arena y ripio. Sin embargo, estos materiales son pesados y aumentarían

notoriamente la carga sobre la estructura del edificio. Una alternativa más ligera en peso y que podría tener aún mayor capacidad de almacenamiento de agua, es el uso de geocompuestos multi-capas, elaborados con una combinación de polímeros sintéticos, que pueden servir como reservorio y retardar el tiempo de descarga del agua almacenada (GSA, 2015-updated-).

La inclinación de las cubiertas influye en la capacidad de retención de agua. Los techos verdes establecidos en cubiertas inclinadas tienen menor capacidad de retención que sus equivalentes establecidos en cubiertas planas, debido principalmente a que tienen una capa de sustrato más delgada y porque la inclinación favorece el flujo del agua hacia las partes inferiores (EPA, 2008b). Es decir, la capacidad de retención del agua de lluvia es inversamente proporcional a la inclinación de la cubierta. Si la inclinación es muy fuerte, el techo debería contar con un mecanismo de sujeción adicional para evitar que el material de sustrato o la capa vegetal sean arrastrados por el agua de lluvia (EPA, 2008b).

Por otro lado, el agua de lluvia que cae sobre los techos verdes y que se descarga hacia los sistemas de drenaje del edificio y posteriormente a las alcantarillas, ha pasado a través de la capa de sustrato y a través de la membrana de filtrado del techo verde, y después de haber sido almacenada temporalmente, es descargada en forma paulatina y lenta, con un bajo contenido de partículas y sedimentos de arrastre. Esto también constituye un beneficio para el sistema de alcantarillado, pues disminuye el riesgo de obturación de las alcantarillas y, consecuentemente, de inundaciones repentinas. Para la ciudad, se disminuiría los gastos por mantenimiento y arreglo de los sistemas de alcantarillado.

Con el fin de mantener la calidad del agua de lluvia que llegará a las alcantarillas, es necesario controlar la composición del sustrato. Un sustrato con alto contenido de materia orgánica, podría ocasionar procesos de descomposición y lixiviación que afectarían la calidad del agua retenida y perjudicarían el desarrollo de la cubierta vegetal. De igual manera, si el contenido de sales o compuestos fosfatados o nitrogenados en el sustrato es alto, producto de la práctica de fertilización, podrían perjudicar la calidad del agua (GSA, 2015-updated-) y dar lugar a eutroficación en las plantas de tratamiento o canales de descarga.

Importante considerar que el volumen de agua retenido en el techo verde, significa un aumento de peso adicional para la estructura. Por tanto, es indispensable asegurar que la estructura del edificio tiene las condiciones para soportar sin riesgo este peso extra. Mayor atención debería prestarse para los techos verdes intensivos, por cuanto su capa de sustrato es más profunda por lo cual su capacidad de almacenamiento de agua es mayor.

4.4.7 AISLAMIENTO ACÚSTICO

Los techos verdes tienen un mejor desempeño en la reducción del ruido que los techos convencionales. Pueden reducir la contaminación del ruido de aviones y del tránsito urbano (GSA, 2015-updated-). Estudios extensivos muestran que un techo con una profundidad de sustrato entre 5 y 15 cm, reduce el ruido en alrededor de 8 decibeles o más (Van Renterghem *et al.*, 2014). El aislamiento acústico es mejor en condiciones de saturación controlada del sustrato y la capa de drenaje. Asimismo, mientras mayor es la porción del techo o azotea cubierta por vegetación, mayor es la reducción del sonido. La textura del

sustrato puede influenciar en la efectividad de este aislamiento acústico. El sustrato de los techos verdes pueden reducir los ruidos de baja frecuencia, en tanto que la capa vegetal puede reducir los sonidos de alta frecuencia (Van Renterghem *et al.*, 2014).

4.4.8 PROLONGACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS CUBIERTAS

Algunos investigadores aseguran que los techos verdes contribuyen a prolongar la vida útil de las cubiertas debido a que la capa vegetal, el sustrato y las multicapas impermeabilizantes y aislantes de los techos verdes, protegen a la superficie de la estructura del techo contra la acción de la radiación ultravioleta y del viento (EPA, 2008b), así como del impacto directo de la lluvia o del granizo; protegen a la cubierta de los eventos continuos y cotidianos de expansión y contracción por la exposición a temperaturas extremas entre el día y la noche.

De acuerdo al estudio de Coffelt y Hendrickson (2008) en una zona de Pittsburgh (USA), los techos comerciales convencionales pueden tener una vida útil promedio de 30 años, lo cual podría ser duplicado mediante el establecimiento de un techo verde (Peck *et al.*, 2003).

4.4.9 RECREACIÓN Y MEJORA DEL AMBIENTE URBANO

Es ampliamente reconocido el efecto positivo de la vegetación sobre el bienestar emocional y psicológico de las personas (García, 2010; Zubevich, 2003). El contacto con lo natural, es tan importante para la gente, como lo es el contacto

con otras personas (Kaplan, 1993). El contacto reducido con la naturaleza, puede ser un factor contribuyente para el incremento de los niveles de stress y sentimientos de insatisfacción (Zubevich, 2003). Muchas edificaciones en las ciudades se encuentran a lo largo de avenidas y rutas de transporte donde el acceso a áreas verdes es muy reducido. En tal realidad, la creación de escenarios verdes atractivos para la vista en los techos de las edificaciones, contribuye al mejoramiento de la calidad de vida ciudadina (García, 2010). Aún las pequeñas islas de vegetación ayudan a romper la monotonía del asfalto y del concreto en los centros urbanos (IGRA, 2014). Los techos verdes proveen beneficios psicológicos a los habitantes urbanos a porque les proveen acceso espacios naturales para su interacción social, recreación relajamiento y, además, les permite tener contacto con las plantas (Ryerson University, 2005). Algunos investigadores aseguran que el contacto con las plantas, aunque sea solamente visual a través de una ventana, mejora la concentración y la satisfacción de los trabajadores y reduce el stress (Laumann, Gärling y Stormark, 2001). Incluso la integración de los centros industriales en las áreas rurales es mejor si se implementan techos verdes, lo que contribuye al bienestar psicológico de los trabajadores (IGRA, 2014). En un estudio realizado por Taylor, Kuo y Sullivan (2001) determinaron que los niños con déficit de atención estuvieron notoriamente más relajados y tuvieron mejor comportamiento después de realizar juegos en áreas verdes.

Según Ryerson University (2005), evidencias provenientes de muchas investigaciones sostienen que la exposición de las personas a elementos naturales incrementa su habilidad para enfocarse, manejar el stress, generar ideas creativas, reducir sus reacciones violentas ante circunstancias adversas, y

les genera una percepción de sí mismas como parte de un todo. En resumen, el contacto con elementos naturales, realza el bienestar mental del individuo.

En las condiciones de las áreas urbanas, los techos verdes pueden ayudar a que las personas tengan estos beneficios psicológicos del contacto con elementos naturales.

4.5 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TECHO VERDE

Aspectos generales que deben ser considerados para el diseño e implementación de un techo verde, son:

- Requerimientos estructurales: volúmenes, resistencia, carga

- Pendiente de la cubierta

- Resistencia al viento

- Resistencia al fuego

- Drenaje

- Zonas libres de vegetación

- Pavimento

- Costos y mantenimiento

- Disponibilidad de materiales en el mercado local

En primer lugar, es indispensable asegurar que la infraestructura del edificio donde se instalará el techo verde, tiene la resistencia necesaria para soportar la carga adicional que significa el establecimiento del techo verde. La carga debe ser calculada para el peso máximo esperado en condiciones de saturación del sustrato por la retención del agua de lluvia, y el tamaño y peso que

alcanzarán las plantas que se van a cultivar. Asimismo, es necesario considerar la carga adicional por la circulación de personas, en los casos de techos con accesibilidad.

En segundo lugar, se debe asegurar que la humedad del sustrato y que las raíces de las plantas no afecten la estructura de la cubierta ni del edificio. Para esto se debe seleccionar los mejores materiales disponibles en el mercado y supervisar cuidadosamente la instalación. Una mala selección de los materiales y/o una instalación defectuosa, pueden ser causa de daños posteriores en la estructura de la cubierta sobre la cual se ha instalado el techo verde, o inclusive sobre otras estructuras del edificio. La corrección de una filtración de agua en un techo verde resultará mucho más costosa que en un techo convencional.

Otros factores a considerarse son el clima, las temperaturas promedio, máxima y mínima; volúmenes y distribución temporal-espacial de la precipitación, patrones de viento; niveles y horas de irradiación solar; altitud; latitud. Estos son factores importantes sobre todo para la selección de las especies de plantas que formarán la capa vegetal del techo verde.

Los materiales necesarios, la selección y composición del sustrato, el material y tipo de membranas del sistema multicapas, así como la selección de las plantas tienen que ser hechos en base a la consideración de factores determinantes como:

- El tipo de techo verde que se desea instalar. A saber, intensivo o extensivo, o un estado intermedio –semi intensivo-. Esto determinará el

tipo de protección multicapas que se deberá utilizar, así como la profundidad y materiales del sustrato y las especies vegetales que se emplearán.

- Los servicios prioritarios que se desean obtener del techo verde. Por ejemplo, si el servicio prioritario esperado es la retención del agua de lluvia, deberá ser instalado sobre una superficie plana; el sustrato deberá tener una profundidad mayor, con limitada cantidad de materia orgánica; la capa de drenaje deberá ser del material que permita una mayor capacidad de almacenamiento.
- Si el servicio prioritario esperado es el aislamiento térmico, debe considerarse también la inclusión de una capa de sustrato profunda y una capa/cámara aislante por debajo de la membrana impermeabilizante.
- Si la expectativa es más bien en el aspecto estético, lo aconsejable es un techo verde intensivo, o semi-intensivo, con una combinación de sustrato de diferentes profundidades y composición, debiendo ser más profundo en las áreas donde se plantarán especies arbustivas o arbóreas, y menor donde se colocarán especies rastreras. Deberá considerarse también los espacios requeridos para el trazado de caminerías, colocación de luminarias, adornos, etc. Este tipo de ambientes abre también opciones para la práctica de una jardinería más tradicional, así como para otras prácticas como permacultura, horticultura (Forero y Devia, 2011), etc.

Un factor importante para la selección de las plantas, es que tengan alta tolerancia a la sequía prolongada, sobre todo para los techos extensivos que tienen restricción de acceso.

Asimismo, los microclimas en el techo deben también ser considerados: la inclinación y la orientación de exposición del techo influirán en la cantidad e intensidad de irradiación solar y vientos que recibirán; morfología de la infraestructura circundante que pudiera hacer sombra al techo o a una parte de él; niveles y tipo de contaminación ambiental.

Estándares para el diseño y establecimiento de techos verdes han sido elaborados en varias localidades principalmente de Estados Unidos y Europa, y están disponibles desde hace pocos años. Algunos países sudamericanos también cuentan ya con estándares locales (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011; EPA, 2008b; Groundwork Sheffield, 2011; IGRA, 2014; Legislatura de la ciudad autónoma de Buenos Aires, 2012; Peck y Kuhn, 2003; Tolderlund, 2010; University of Florida, 2008; Wark y Wark, 2003). Sin embargo, según Blackburn y Matthews (2010), la aplicación de estos estándares, al menos en Estado Unidos, no es segura.

4.6 LA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS TECHOS VERDES

Es ampliamente aceptado que los techos verdes ofrecen beneficios ambientales, económicos y sociales. Sin embargo, hay muchas preguntas que no han sido contestadas sobre estas estructuras, y es apenas en la última década

del siglo XX y lo que va del siglo XXI, que se inicia las investigaciones para comprender mejor su funcionamiento y dimensionar los aportes y beneficios atribuidos a ellos. Y es claro que la expectativa por parte de investigadores, autoridades y de la población en general, va en aumento.

En una revisión de los artículos sobre techos verdes, publicados en revistas indexadas desde el año 2000, Ramírez y Bolaños-Silva (2012) encontraron que el interés científico por estas infraestructuras ha venido incrementándose paulatinamente, y cobra más importancia en los años 2010 y 2011 (Figura 8). Asimismo, estos autores observan que las publicaciones se originan principalmente en países desarrollados como Estados Unidos, Canadá, China Inglaterra, Suecia e Inglaterra. Las investigaciones en países tropicales son escasas, y provienen principalmente de Singapur, Tailandia y Taiwán. La región suramericana solamente está representada por Brasil (Figura 9). El tema más abordado en estas publicaciones, es el aislamiento térmico y su subsecuente beneficio económico por la reducción del consumo de energía por el uso de equipos de aire acondicionado y/o de calefacción (Figura 10). Este tema es de particular interés para las zonas templadas, en donde se concentra la mayor parte de las publicaciones revisadas, puesto que utilizan equipos de aire acondicionado en verano y equipos de calefacción en el invierno. Otro tema importante que abordan las publicaciones revisadas por Ramírez y Bolaños (2012) es la Ecología y las ciencias ambientales, especialmente la contribución de los techos verdes para fomentar la Biodiversidad y para mitigar el efecto Isla de Calor Urbano.

La investigación sobre estas estructuras sigue en aumento, lo cual da una idea de la amplia expectativa que despiertan los techos verdes a nivel global, pues se presenta como una alternativa de solución para problemas que son comunes para todas las urbes alrededor del mundo. Al hacer una búsqueda de artículos relacionados con “techo verde”, utilizando el motor de búsqueda scholar.google, arroja alrededor de 39 200 resultados; si se realiza la búsqueda de “Green roof”, arroja 452 000 resultados. (búsqueda realizada el 15 de enero de 2015).

En Ecuador, se está iniciando la investigación sobre los techos verdes, aunque ya se ha establecido algunos techos verdes en Quito y otras ciudades, principalmente en edificios públicos y centros comerciales (Explored - Ecuador, 2013).

4.7 OBSTÁCULOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS TECHOS VERDES

Con todas estas ventajas, no es raro que muchas empresas constructoras e inmobiliarias, así como empresas especializadas en jardinería, hayan incluido entre sus productos la implementación de techos verdes. Sin embargo, la implementación de techos verdes es aún muy limitada, con una mayor difusión y promoción en países europeos y norteamericanos, pero casi desconocidos en otras regiones. Su aplicación se ha concentrado en edificios públicos –como una estrategia de los gobiernos locales para incrementar las áreas verdes por habitante (índice verde) (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011; Explored - Ecuador, 2013); así como en centros comerciales y hoteles, donde la

motivación principal para su implementación ha sido mejorar la imagen corporativa (Zielinski *et al.*, 2012). Mención particular merecen excepciones como el caso del distrito de Augustenborg en la ciudades suecas de Malmö y Basel. En Malmö (Xu, 2011) los techos verdes son parte de un conjunto de medidas aplicadas para la implementación de un modelo de “ciudad sustentable”, con resultados favorables que le han hecho merecedora del World Habitat Award 2010 (Xu, 2011; World Habitat Awards, 2010). Asimismo, en la ciudad de Basel, la implementación de techos verdes es mandatoria para todo edificio que tenga una cubierta plana (Brenneisen, 2006).

Según US Department of Energy (2004) y Nashville gov. (2012), los principales obstáculos para la masificación de los techos verdes, son los siguientes:

- Costos más altos que los techos convencionales
- Factibilidad limitada debido a la capacidad de carga de las cubiertas.
- En algunos países, requieren permisos especiales y deben cumplir códigos específicos de construcción y seguridad de acuerdo a la normativa local.
- Requieren más labores de mantenimiento que los techos convencionales.
- Existen riesgos de filtraciones y daños de la cubierta a causa de empozamientos del agua o acción de las raíces.
- Desconocimiento de los beneficios y poca confianza en el sistema de techos verdes. La difusión y promoción de techos verdes es aún muy limitada.

5 CONCLUSIONES.

A la luz de los artículos revisados, los techos verdes son una herramienta viable para la gestión ambiental en las áreas urbanas. Sus beneficios cubren aspectos ambiental, social y económico, y tienen potencialidades todavía no bien comprendidas. Las investigaciones muestran que los techos verdes cumplen eficientemente la función de aislamiento térmico y , aplicados a gran escala, tienen un gran potencial para la mitigación del efecto de Isla de Calor Urbano, así como para el manejo de las aguas de lluvia y la mitigación del síndrome de corriente urbano. Se observa también el potencial de los techos verdes para mitigar el impacto de los asentamientos urbanos sobre la biodiversidad local.

Sin embargo, para que las potencialidades de los techos verdes se concreten en beneficios para los usuarios directos, para las ciudades y para el ecosistema, es indispensable que se impulse la investigación a nivel local acerca de los detalles de su funcionamiento que tienen que ver con factores locales de clima, composición de sustratos, biodiversidad, costos de implementación y otros; y es necesario también, que se promueva la implementación de techos verdes a gran escala, mediante su incorporación en planes integrados de manejo de las áreas urbanas, es decir, es fundamental el involucramiento de autoridades y planificadores.

6 RECOMENDACIONES

El tema de los techos verdes está en sus etapas iniciales en el Ecuador, lo que debería ser tomado como una oportunidad para tomar medidas que aseguren una implementación ordenada, segura y orientada de acuerdo a las condiciones y prioridades locales.

Si bien hay aspectos que pueden aplicarse de modo general a los techos verdes independientemente de su localización geográfica, muchos aspectos requieren de una revisión detallada de las condiciones locales tanto en el ámbito ecológico, económico y social. Por este motivo, es importante que se promueva la investigación y el desarrollo de políticas, normativas y estándares locales para asegurar una implementación segura de los techos verdes, y que responda a los requerimientos prioritarios locales.

Es necesario crear espacios de comunicación y colaboración entre autoridades, planificadores, constructores e investigadores.

Es recomendable la investigación de riesgos potenciales como la infestación de plagas en los techos verdes, y las medidas de control respectivas.

Es recomendable la investigación sobre sustratos que incorporen material de suelo local para favorecer la biodiversidad.

Investigar sobre las especies de plantas nativas que presenten las características requeridas para ser cultivadas en los techos verdes, y que resulten también atractivas para la fauna, especialmente aves e invertebrados como mariposas, abejas, y otros.

Elaborar un listado básico de especies de plantas propicias para los techos verdes según las condiciones del clima de cada localidad; investigar sobre

técnicas de cultivo y mantenimiento de las especies seleccionadas; requerimientos nutricionales; susceptibilidad a plagas.

Es claro que para obtener los beneficios ambientales, sociales y económicos que ofrecen los techos verdes, su implementación tiene que ser de escala grande. Por tal motivo, es indispensable que esté bajo un plan integrado multianual a nivel nacional, provincial o municipal y que cuente con indicadores y metas claras, así como mecanismos y estrategias de seguimiento y monitoreo que permitan enriquecer y fortalecer la experiencia para optimizar los beneficios.

Es indispensable promover la implementación de los techos verdes como una herramienta viable para la gestión ambiental en las ciudades ecuatorianas, mediante campañas de mediano y largo plazo, para formar la conciencia ambiental y procurar la participación entusiasta de la ciudadanía.

Levantar diagnósticos de áreas disponibles y prioritarias para el establecimiento de techos verdes en la ciudad de Quito y en otras ciudades del país.

Levantar un diagnóstico situacional y seguimiento a los casos de techos verdes implementados en las diferentes ciudades del Ecuador.

Implementar sistemas de incentivos para promover la implementación de techos verdes en edificaciones existentes.

Considerar la obligatoriedad de implementar techos verdes en todos los edificios nuevos, y en aquellos que el diagnóstico determine.

Las autoridades y responsables del ordenamiento territorial deberían emprender en planes y programas integrales para la transformación de las ciudades hacia un modelo sustentable en el cual los techos verdes sean uno de los elementos aportantes.

Es necesario fomentar el desarrollo profesional y el entrenamiento en el tema de techos verdes, y programas de acreditación internacional, con el fin de asegurar la excelencia en el diseño, instalación y mantenimiento de los techos verdes.

Proveer asistencia a los elaboradores de políticas a través de entrenamiento en el desarrollo de programas y políticas que apoyen la inversión en techos verdes.

Abrir líneas de financiamiento con tratamiento preferencial para la implementación de techos verdes y estrategias complementarias para la gestión ambiental en las áreas urbanas.

Considerar la reducción de impuestos para quienes implementen techos verdes en sus propiedades, como reconocimiento a la responsabilidad ambiental.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. – Secretaría Distrital de Ambiente. **Guía de techos verdes en Bogotá**. Bogotá, Colombia. Disponible en: http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73753/GUIA+DE+TECHOS+VERDES_2011.pdf. [Fecha de consulta: 5 de febrero de 2015]. 87p. 2011.
- Ángel, L., Ramírez, A. y Domínguez, E. Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. **Rev. Acad. Colomb. Cienc.** 34 (131): 173-183. 2010. Disponible en: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_34/131/173-183.pdf. [Fecha de consulta: 31 de enero de 2015]. ISSN 0370-3908.
- Bass, B. y Baskaran, B. **Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an adaptation strategy for urban areas**. National Research Council Canada. NRCC-46737. Disponible en: <http://www.nps.gov/tps/sustainability/greendocs/bass.pdf>. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]. 2003. 111p.
- Baumann, N. Ground-Nesting birds on Green Roofs in Switzerland: preliminary observations. **Urban Habitats**, Vol. 4, No. 1. Disponible en: http://www.urbanhabitats.org/v04n01/birds_pdf.pdf. [Fecha de consulta: 10 de febrero de 2015]. 2006. 14p. ISSN 1541-7115.
- Blackhurst, M., Hendrickson, C. y Matthews, H.S. Cost-Effectiveness of Green Roofs. **Journal of Architectural Engineering – ASCE**. 2010, 136-143. Disponible en: <http://www.cmu.edu/gdi/docs/cost-effectiveness.pdf>. [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015]. DOI: 10.1061/_ASCE_AE.1943-5568.0000022.
- Brenneisen, S. Space for urban wildlife: Designing Green Roofs as habitats in Switzerland. **Urban Habitats**, Vol. 4, No. 1. Disponible en: http://www.urbanhabitats.org/v04n01/wildlife_pdf.pdf. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]. 2006. 10p. ISSN 1541-7115.
- Building and Social Housing Foundation. **Ecociudad Augustenborg, Suecia – Ganador del Premio Mundial del Hábitat 2010**. Informe. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.bshf.org%2Fscripting%2Fgetpublication.cfm%3Fflang%3D01%26thePubID%3D5BCC2501-D4AE-52C7-70490F2A6102B82D&ei=GCrIVliFF8GmgwTY2IP4CA&usg=AFQjCNEbF0uzjp f3TTwZxSkKroQyQ60eCw>. [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015]. 49p.
- Carter, T. y Keeler, A. Lyfe-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. **Journal of Environmental Management** 87: 350-363, 2008. Disponible en:

<http://rshanthini.com/tmp/CP551/SDProjectPapers/LCCBAGreenRoof.PDF>.
[Fecha de consulta: 6 de enero de 2015].

Casey Trees Endowment Fund y Limo-Tech, inc. **Re-greening Washinton, D.C.: A Green Roof - Vision Based on Quantifying Storm Water and Air Quality Benefits**. Washington, D.C. Disponible en:

<http://www.greenroofs.org/resources/greenroofvisionfordc.pdf>. [Fecha de consulta: 22 de enero de 2015]. 2005. 17p.

Chenani, S.B., Lehvāvirta, S. y Häkkinen, T. Life cycle assessment of layers of Green roofs. **Journal of Cleaner Production** 90 (2015) 153-162. [en línea].

Disponible en http://www.freepapers.ir/PDF/10.1016-j.jclepro.2014.11.070.pdf?hash=klbuUEXFETYchX_A2cMNFw. [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2015].

Coffelt, D.P. y Hendrickson, C.T. Life-Cycle Costs of Commercial Roof Systems.

Journal of Architectural Engineering. Vol. 16, No. 1. Disponible en: <http://www.cmu.edu/gdi/docs/life-cycle-costs.pdf>. [Fecha de consulta: 17 de febrero de 2015]. 2010. pp. 29-36. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0431(2010)16:1(29).

Coffman, R. **Vegetated roof systems: Design, productivity, retention, hábitat, and sustainability in green roof and ecoroof technology**. Dissertation (Doctor of Philosophy). Ohio, United States. 2007. 227p.

CONALEP. **Fachadas y azoteas Verdes. México**. Disponible en: http://www.conalep.edu.mx/academicos/Documents/eficiencia_energetica/MD6AzoteasVerdes_FinalFeb2013.pdf. [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015]. 2013. pp. 37.

Cummings, J.B., Whitters, C., Sonne, J., Parker, D. y Viera R. **UCF Recommissioning, Green Roof Technology, and Building Science Training. Final Report**. October. 51, No. 2: 249-262. 2007. Disponible en: <http://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2012/04/FSEC-CR-1718-07.pdf>. [Fecha de consulta: 2 de enero de 2015]. 2007.

Currie, B.A. y Bass, B. Estimates of air pollution mitigation with Green plants and Green roofs using the UFORE model. **Urban Ecosyst** (2008) 11: 409-422.

DOI 10.1007/s11252-008-0054-y. Disponible en:

https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FBrad_Bass%2Fpublication%2F225190459_Estimates_of_air_pollution_mitigation_with_green_plants_and_green_roofs_using_the_UFORE_model%2Flinks%2F00b7d52b4e54766610000000.pdf&ei=kc7zVMjCFsq9PZ6lgNgP&usq=AFQjCNG0zZhrThAKm8AZGUw_ATI8aMUW9A. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2015].

Del Barrio, E.P. **Analysis of the green roofs cooling potential in buildings**.

Energy and Buildings, 27: 179-193. 1998. Disponible en:

<http://ncssmrex.wikispaces.com/file/view/Energy+and+Buildings->

+Analysis+of+the+green+roofs+cooling+potential+in+buildings.pdf. [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2015]. 1998. PII S0378-7788(97)00029-7.

Dvorak, B. The Chicago City Hall Green Roof Pilot Project: A Case Study. 2009. En línea. Disponible en: http://www.researchgate.net/profile/Bruce_Dvorak2/publication/258310906_The_Chicago_City_Hall_Green_Roof_Pilot_Project_A_Case_Study/links/53dfa9ed0cf2a768e49bc63d.pdf. [Fecha de consulta: 25 de marzo de 2015].

EcuRed. **Charles Edouard Jeanneret-Gris**. [en línea]. Disponible en: http://www.ecured.cu/index.php/Charles_Edouard_Jeanneret-Gris. [Fecha de consulta: 2015-02-22]. s/f.

Emilsson, T. **Extensive Vegetated Roofs in Sweden – establishment, development and environmental quality**. Doctoral thesis. (Landscape Planning, Horticulture and Agriculture Science). Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Suecia. Disponible en: <http://core.ac.uk/download/pdf/11695004.pdf>. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2015]. 2005. 34p. ISSN 1652-6880. ISBN 91-576-7086-2.

EPA. Chapter 2. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies: Urban Heat Island Basics**. [en línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>. [Fecha de consulta: 6 de enero de 2015]. 2008a. 22p.

EPA. Chapter 3. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Green Roofs**. [en línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>. [Fecha de consulta: 6 de enero de 2015]. 2008b. 29p.

Explored – Ecuador. **Cincuenta Edificios de Quito Tienen Terrazas Verdes**. [en línea]. Disponible en: <http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/cincuenta-edificios-de-quito-tienen-las-terrazas-verdes-582022.html>. [Fecha de consulta: 03 de febrero de 2015]. 2013.

Forero, C. y Devia, C. Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos. Estudio de caso: barrio La Isla, Altos de Cazucá, Soacha, Cundinamarca. [en línea]. Disponible en: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5578/4420>. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2015]. 2011.

García, I. Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 2010. Disponible en: http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2015].

Getter, K.L. & Rowe, D.B. **Selecting plants for extensive green roofs in the United States**. Extension Bulletin E-3047. Michigan State University. Michigan, United States. Disponible en: https://www.sbeap.org/greeninf/GreenRoof_guide_ExtensionBulletin.pdf. [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015]. 2008. 9p.

- Gil, J.G. Notas sobre tipologías constructivas y sociales de corticos en el centro de Sao Paulo, Brasil. **Arquetipo 6 de la UCP: pp. 83-96**. 2013. Disponible en: <http://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/arquetipo/article/view/541/506>. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2015].
- Green Roofs for Healthy Cities. **Standards in support of the development of the Green Roof Industry**. Página Web. [En línea]. Disponible en: <http://www.greenroofs.org/index.php/resources/designstandards>.
- Groundwork Sheffield. **Green Roof Developer's Guide**. [en línea]. Disponible en: http://www.greenroofguide.co.uk/downloads/dev_guide_v3.pdf. [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2015]. 2011. 57p.
- GSA. **The Benefit and Challenges of Green Roofs on Public and Commercial Buildings**. [en línea]. Last updated 2015-01-28 Disponible en: http://www.gsa.gov/portal/mediaId/158783/fileName/The_Benefits_and_Challenges_of_Green_Roofs_on_Public_and_Commercial_Buildings.action. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]. 152 p.
- Heredia, C. **Infraestructura verde: un espacio para la innovación de la cubierta vegetal**. Disertación. (Máster en Gestión en Edificación). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Madrid, España. Disponible en: http://oa.upm.es/14256/2/TESIS_MASTER_CAROLINE_HEREDIA_A_2.pdf. [Fecha de consulta: 26 de enero de 2015]. 2012. 126p.
- Hillel, D. **Environmental soil physics**. Chapter 6, Academic Press. San diego, Ca, USA. 771p.
- Hutchinson, D., Abrams, P., Retzlaff, R. y Liptan, T. **Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland Oregon, USA**. Proceedings of Grenning Rootops for Sustainable Communities: Chicago 2003. [en línea]. Disponible en: <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/63098>. [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015]. 18p. 2003.
- IGRA. **A Quick Guide to Green Roofs**. Nuertingen, Alemania. (en línea). Disponible en: http://www.igra-world.com/links_and_downloads/downloads.php. [Fecha de consulta: 14 de enero de 2015]. 2014. 10p.
- Jeffrey, S. Evaluating Green Roff Energy Performace. **ASHRAE Journal**, Vol. 48: 58-61. 2006. Disponible en: https://www.academia.edu/1176789/Evaluating_green_roof_energy_performance. [Fecha de consulta: 19 de enero de 2015]. FSCE-CR-1659-06
- Kadas, G. Rare invertebrates colonnizing Green Roofs in London. **Urban Habitats**, Vol. 4, No. 1. Disponible en: http://www.urbanhabitats.org/v04n01/invertebrates_pdf.pdf. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 20015]. 21 p. ISSN 1541-7115.

- Kaplan, R. The rol of Nature in the context of the wokplace. Landscape and Urban Planning, 26(1993) 193-201. Disponible en: <http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/30542/0000175.pdf>. [Fecha de consulta: 3 de enero de 2015]. 0169-2046/93/\$06.00.
- Legislatura de la ciudad autónoma de Buenos Aires. **Ley 4428**. Disponible en: <http://www.cedom.gov.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley4428.html>. [Fecha de consulta: 25 de febrero de 2015].
- Liu, K. **Engineering performance of Rooftop Gardens through field evaluation**. Interface. (en línea). Disponible en: <http://www.rci-online.org/interface/2004-02-liu.pdf>. [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015]. 2004. 9p.
- Liu, K. y Baskaran, B. **Thermal performance of Green Roof through field evaluation**. National Research Council Canada. Disponible en: <http://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2013/10/termica-gr-canada.pdf>. [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2015]. 2003. 11p.
- Liu, K, y Bass, B. **Performance of Green Roof Systems**. National Research Council Canada. Report No. NRCC-47705, Toronto, Canada. 2005. 20p. Disponible en: http://scholar.google.com.ec/scholar_url?url=http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl%3Faction%3Drtdoc%26an%3D20377602&hl=es&sa=X&scisig=AAGBfm1UBwMJx6QDTtawuFpzGHn2an8Ggg&nossl=1&oi=scholar&ei=mrzVPG5Han8ygOO1YDIBQ&ved=0CBsQgAMoADAA. [Fecha de consulta: 31 de diciembre de 2014]. NRCC-47705
- Minke, G. **Techos verdes, Planificación, ejecución y concejos prácticos**. Montevideo, Uruguay. Editorial Fin de Siglo. 2004. 85p. [Fecha de consulta: 31 de enero de 2015]. Disponible en: http://www.caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/TechosVerdes_Gernot%20Minke.pdf. ISBN: 9974-49-323-4.
- Moran, A., Hunt, B. y Jennings, G. A North Carolina field study to evaluate Greenroof runoff Quantity, runoff Quality, and plant growth. **World Water & Environment Resources Congress**. 2003: pp.1-10. Disponible en: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40685%282003%29335>. [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2015]. DOI: 10.1061/40685(2003)335.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. **10 Acciones de Quito Frente al Cambio Climático**. 2011. [en línea]. Disponible en: http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php?option=com_k2&view=item&id=57%3A4-red-verde-urbana&lang=es [Fecha de consulta: 4 fe febrero de 2015].
- Nashville Government, 2012. Green Roof. **Best Management Practices**. Vol. 5. June 2005. [en línea]. Disponible en: https://www.nashville.gov/portals/0/SiteContent/WaterServices/stormwater/docs/SWMM/vol5/GIP12_Green_Roof.pdf. [Fecha de consulta: 6 de marzo de 2015].

- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R., Doshi, H., Dunnet, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. y Rowe, B. Green Roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and Services. **BioScience**, Vol. 57 Nro. 10: 823-833, 2007. Disponible en: https://www.academia.edu/1176791/Green_Roofs_As_Urban_Ecosystems_Ecological_Structures_Functions_and_Services. [Fecha de consulta: 19 de enero de 2015]. doi:10.1641/B571005.
- Open Ingeniería. **Techos Verdes – Una Estrategia Sostenible**. Presentación PPT. Disponible en: <http://openingenieria.com/ArchivosCursosOnline/125008316.pdf>. [Fecha de consulta: 5 de enero de 2015]. sf. 84p.
- Peck, S. y Kuhn, M. **Design Guidelines for Green Roofs**. Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, and the Ontario Association of Architects. Toronto. Disponible en: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload/Design-Guidelines-for-Green-Roofs.pdf>. [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2015]. 2003. 22p.
- Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M. y Bass, B. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. 1999. [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.w.carmelacanzonieri.com/3740/readings/greenroofs%2Bgreen%20design/Greenbacks%20from%20greenroofs.pdf>. 78p.
- Plúa, G.E. **Análisis económico en proyectos de construcción sostenible**. Tesis. Universidad Católica Santiago de Guayaquil. 2012. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/123456789/384>. [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2015].
- Ramírez, W., Bolaños-Silva, T. Revisión sobre el papel de los techos verdes en la remoción de carbono atmosférico en el neotrópico. **Revista nodo**. Nro. 12, Vol. 6:7-18. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4013964>. [Fecha de consulta: 6 de enero de 2015]. 2012.
- Rosatto, H., Meyer, M., Laureda, D., Cazorla, L., Barrera, D., Gamboa, P., Villalba, G., Bargiela, M., Pruzzo, L., Rodríguez, L., Caso, C., Rocca, C., Hashimoto, P. Kohan, D. y Quaintenne, E. **Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo Eextensivo” e “intensivo”**. Rev. FCA UNCUIYO. 2013. 45(1): 169-183. [en línea]. Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDUQFjAD&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4013964.pdf&ei=uFraVNDcOvWZsQSZ_4CwAQ&usg=AFQjCNHJ3WfUE4UVxDXSYt0ef4Vm5Bzr5Q&sig2=IJBIAjGyOqAwsxvQbmCPJA. [Fecha de consulta: 26 de enero de 2015]. ISSN 1853-8665.
- Ryerson University. **Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto**. Disponible en: https://www.academia.edu/1176785/Report_on_the_environmental_benefits_and_costs_of_green_roof_technology_for_the_city_of_Toronto. [Fecha de consulta: 18 de enero de 2015]. 2005. 88p.

Stefano Boeri Architetti. Sitio web (en línea). Disponible en:

<http://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/portfolios/bosco-verticale/>. [Fecha de consulta: 22 de enero de 2015].

Tarrida, M. **Aprender sobre las cubiertas verdes urbanas a través del caso Augustenborg**. Tesina. (Máster de Arquitectura y sostenibilidad). Universidad Politècnica de Catalunya. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/13548/1/Tarrida,%20Mar%C3%A7al_Tesina.pdf. [Fecha de consulta: 6 de enero de 2015]. 2010. 37p.

Taylor, A.F., Kuo, F.E. y Sullivan, W.C. Coping with ADD. The surprising connection to green play settings. *Environment and Behavior*, Vol.33, Nro. 1. Disponible en: <http://lhl.illinois.edu/adhd.htm>. [Fecha de consulta: 27 de febrero de 2015]. 2001. Pp. 54-77.

TC Tecnología y Construcción. **Techos verdes: Jardín en las alturas**. Revista TC Tecnología & Construcción. Santiago, Chile. 2010. pp.5-12. Disponible en: <http://www.construhub.cl/wp-content/uploads/2012/04/agosto2010.pdf>. [Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015].

Tolderlund, L. **Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West**. University of Colorado, Denver. Disponible en: <http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/GreenRoofsSemiAridAridWest.pdf>. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]. 2010. 59p.

Toronto. Pág. Web. **Green Roof Construction Standards**. [En línea]. Disponible en: <http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=77420621f3161410VgnVCM10000071d60f89RCRD>. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015].

University of Florida—Program for Resource Efficient Communities. **Florida Field Guide to Low Impact Development**. (en línea). Disponible en: http://buildgreen.ufl.edu/Fact_sheet_Green_Roofs_Eco_roofs.pdf. [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015]. 2008. 4p.

U.S. Department of Energy. **Green Roofs**. Federal Technology Alert. DOE/EE-0298. Washington, D.C. Disponible en: http://energy.gov/sites/prod/files/2013/10/f3/fta_green_roofs.pdf. [Fecha de consulta: 17 de enero de 2015]. 2004. 32p.

Van Renterghem, T., Despriet, M. y Botteldooren, D. **Experimental analysis of the noise shielding by a Green roof in response to rainfall**. *Inter-noise*. Disponible en: http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p446.pdf. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]. 2014. 4p.

Vidal, A.C. **Techos ecológicos en vivienda multiamiliar com opción de preservación del medio ambiente**. Universidad Tecnológica de El Salvador. An Salvador, El Salvador. Disponible en:

http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/investigaciones_utec/56183.pdf.
[Fecha de consulta: 26 de enero de 2015]. 2009. 112p.

Walsh, C.J., Roy, A.H., Feminella, J.W., Cottingham, P.D., Groffman, P.M. y Morgan, R.P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**. Vol. 24(3): 706-723. 2005. DOI -10.1899/04-028.1. Disponible en: http://clear.uconn.edu/projects/tmdl/library/papers/Walsh_et al_2005.pdf. [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015].

Wark, C.G. y Wark, W.W. Green Roof Specifications and Standards. **The Construction Specifier**. Vol. 56, No. 8. Disponible en: <http://www.fussypainting.com/pdf/GreenRoof.pdf>. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]. 2003. 12p.

Wong, N.H., Cheong, D.K.W., Yan, H. Soh, J., Ong, C.L. y Sia, A. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Saingapore. **Energy and Buildings**. 35: 353-364, 2003. Disponible en: https://www.academia.edu/1835554/The_effects_of_rooftop_garden_on_energy_consumption_of_a_commercial_building_in_Singapore. [Fecha de consulta: 19 de enero de 2015]. PII: S0378-7788(02)00108-1.

World Habitat Award. [en línea].Disponible en: <http://www.worldhabitatawards.org/winners-and-finalists/project-details.cfm?lang=00&theProjectID=8A312D2B-15C5-F4C0-990FBF6CBC573B8F>. [Fecha de consulta: 9 de febrero de 2015].

Xu, Y. **Augustenborg: a sustainable community assessment – Considering the sense of community**. Tesis. [Masterado en Desarrollo Sustentable]. Uppsala University and Swedish University of Agricultural Sciences. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:453287/FULLTEXT01.pdf>. [Fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]. 64p.

Zielinski, S., García Collante, M.A., Vega Paternina, J. Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta. **Revista Gestión y Ambiente**, Vol. 15 – Nro. 1. Medellín, Colombia. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30820/30931>. [Fecha de consulta: 21 de febrero de 2015]. doi:10.1641/B571005. Páginas 91-104, 2012.

Zubevich, K. The search for the Sacred in the Concrete Jungle. **Ecopsychology Journal**. Issue 8. 2003. [en línea]. Disponible en: <http://www.ecopsychology.org/journal/gatherings8/html/healing/search.html>. [Fecha de consulta: 17 de diciembre de 2014].

8 FIGURAS.

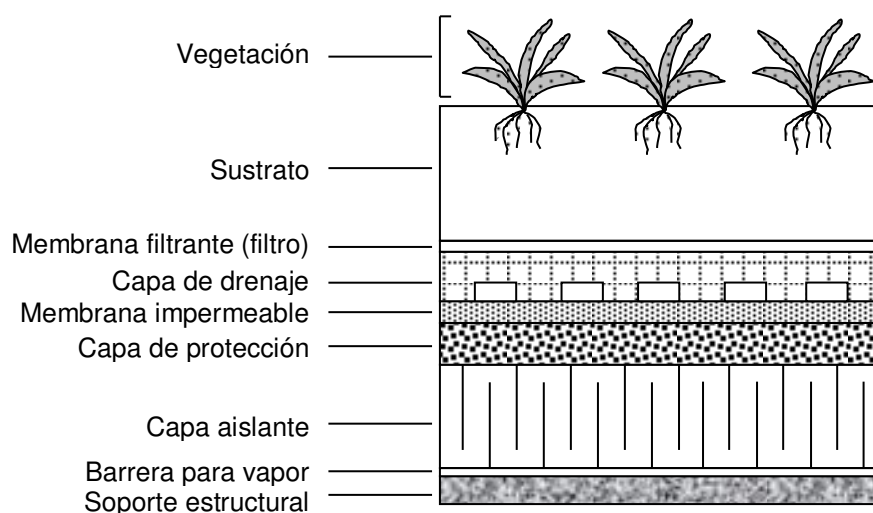


Figura 1. Principales componentes de un techo verde (modificada de Liu, 2004).



Figura 2. Imágenes de techos verdes extensivos.

(Fuentes: 1. <http://www.nuestracasa.pe/techos-verdes/>; 2. http://www.zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas_cubiertas/intensivas/cubierta_con_cesped.php; 3. <http://www.mexicohazalgo.org/tag/azoteas-verdes/>)



Figura 3. Techo verde ajardinado en la cubierta de la Torre 2 de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Quito. La vegetación incluye elementos nativos como fresa silvestre (*Fragaria vesca* Coville), *Alchemilla* sp., *Tillandsia* sp., *Carex* sp., orquídeas (*Epidendrum* sp.); también tiene elementos introducidos como lágrima de bebé (*Soleirolia soleirolii* (Req.) Dandy), tabaco chino (*Cuphea ignea* A.DC.).

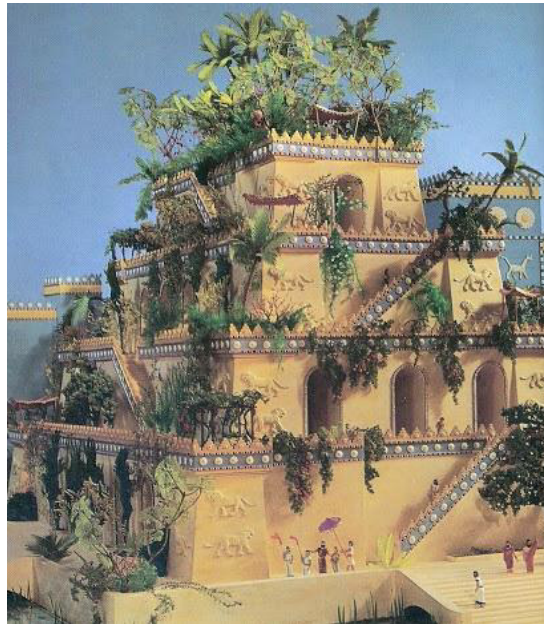


Figura 4. Imagen recreada de los jardines colgantes de Babilonia.
(Fuente: <http://www.taringa.net/posts/info/11586392/Babilonia-por-Felipe-Pigna.html>).

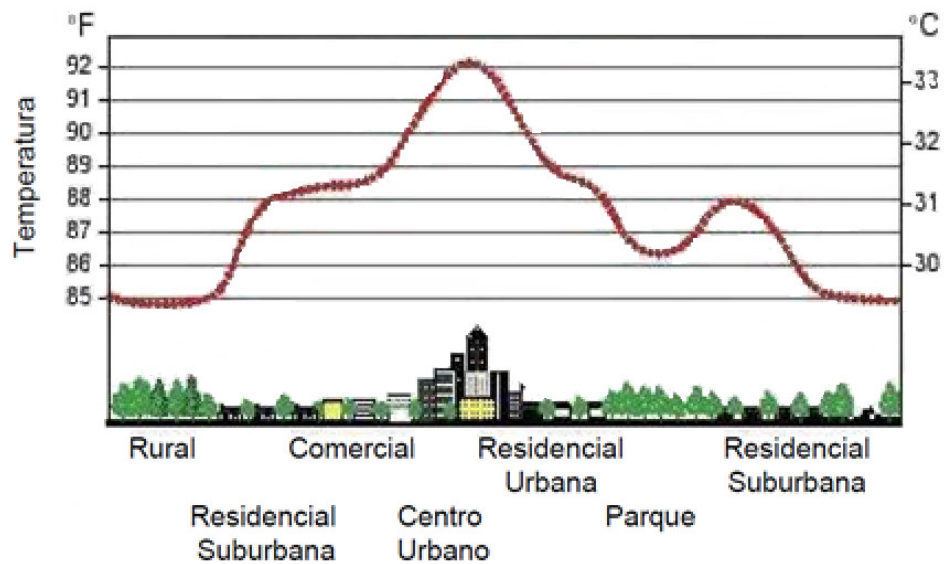


Figura 5. Perfil esquemático de una Isla de Calor Urbano. (Fuente: EPA, 2008a)

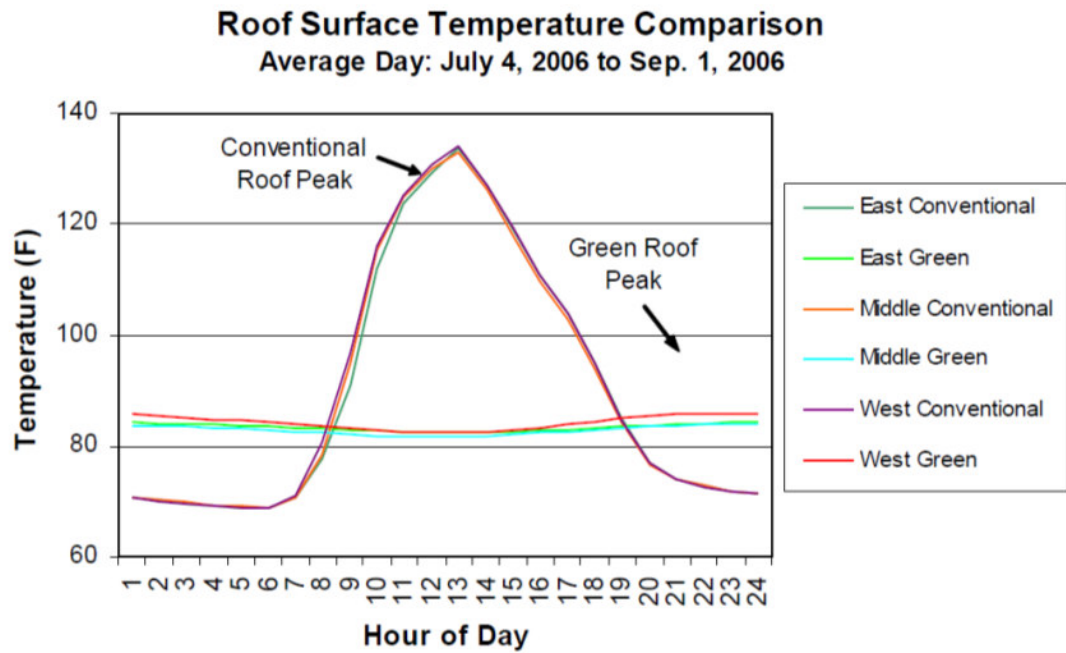


Figura 6. Fluctuación de temperatura en las superficies de techos convencionales y techos verdes en el verano del 2006 en Florida. (Tomado de: Cumming *et al.*, 2007).



Figura 7. Colibrí en el techo verde implementado sobre la cubierta de la Torre 2 de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Quito. Es un visitante frecuente atraído por el tabaco chino (*Cuphea ignea* A. DC.).

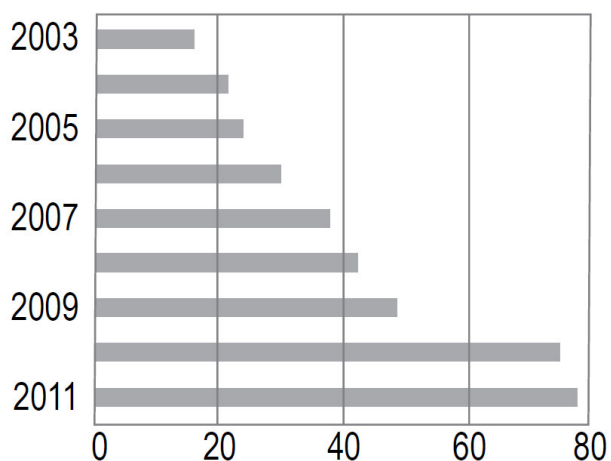


Figura 8. Número de artículos sobre techos verdes, publicados por año.
Fuente ISI Web of Knowledge (Citado por: Ramírez y Bolaños, 2012).

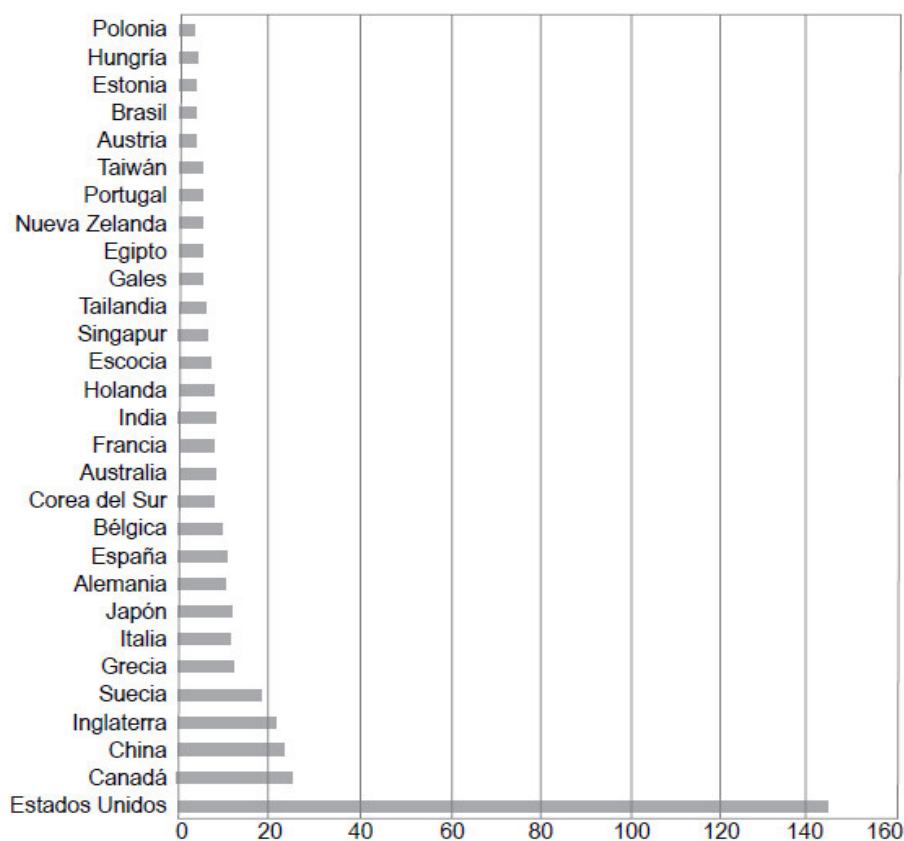


Figura 9. Número de artículos sobre techos verdes publicadas por país desde el año 2000. Fuente: ISI Web of knowledge (Tomado de: Ramírez y Bolaños, 2012).

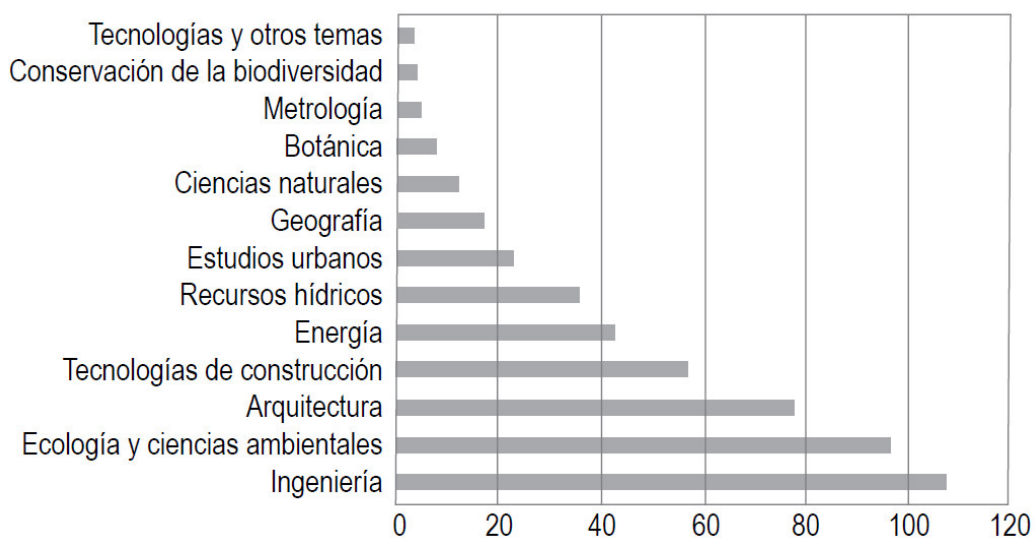


Figura 10. Número de artículos sobre techos verdes, relacionados con diferentes áreas temáticas. Fuente: ISI Web of Knowledge (Tomado de: Ramírez y Bolaños, 2012).

9 TABLAS.

Tabla 1. Tipos y características de los techos verdes

Característica	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Espesor de sustrato	Generalmente 5 a 8 cm; hasta 15 cm	Entre 10 y 20 cm	Mayor a 15 cm
Cobertura vegetal Transitable	No transitable	Parcialmente transitable	Transitable
Peso Saturado	Entre 50 y 170 Kg/m2	Entre 150 y 250 Kg/m2	Mayor a 245 Kg/m2
Mantenimiento	Mínimo	Variable	Alto
Tipo de vegetación	Rastreras	Arbustos pequeños, pastos, ornamentales y aromáticas	Arbustos y árboles pequeños
Inclinación máxima	Hasta 30° o más	Tendiendo a plano	Relativamente plano
Requerimiento de riego	Bajo	Medio	Necesario

Modificado de: Heredia, 2012; EPA 2008b.